

Rancang Bangun *proton Precession Magnetometer* berbasis Mikrokontroler ATMEGA 328P

Ahmad Ghozali¹, Hapsoro Agung Nugroho^{1*}

¹Program Studi Instrumentasi-MKG, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang Selatan, Jl. Perhubungan 1/5 Pondok Betung, Tangerang Selatan, 15221

*Corresponding Author: hapsoro.agung@bmkg.go.id

Abstrak

Pemetaan struktur sesar sangat diperlukan untuk mengetahui pertumbuhan sesar di Indonesia dan mengantisipasi terjadinya gempa bumi. Metode magnetik adalah salah satu metode yang baik digunakan untuk mengetahui jenis permukaan bawah tanah dan strukturnya. Salah satu alat yang menggunakan prinsip kerja magnetik adalah *Proton Precession Magnetometer* (PPM) yaitu sebuah alat dengan sensor proton yang bekerja berdasarkan precess dari inti proton akibat adanya perubahan medan magnet di sekitarnya. Penelitian ini merancang sebuah sensor PPM dengan menggunakan 1000 kumparan yang dililitkan pada dua tabung akrilik yang berisikan cairan *kerosene*. Frekuensi yang dihasilkan oleh sensor diolah pada *Arduino Uno* agar menjadi nilai anomali medan magnet bumi dalam satuan *nanoTesla*. *Module GPS Neo-7* digunakan untuk mendapatkan lintang, bujur, tanggal, dan waktu dalam pengukuran. Data yang dihasilkan seperti nilai medan magnet bumi, lintang, bujur, tanggal dan waktu disimpan pada *SD card* dan ditampilkan pada *LCD 20x4*. Sensor dapat mengukur nilai medan magnet total bumi yang memiliki nilai koreksi rata-rata sebesar 198.674 nT dan memiliki sensitivitas sebesar 0.0006 nT/kHz.

Kata kunci: *Magnet Bumi, Proton, Magnetometer*

Abstract

Mapping of cesarean structures is necessary to determine the growth of cesarean in Indonesia and to urge the recovery of earthquakes. The magnetic method is one of the methods used to understand the type of underground surface and its structure. One of the tools that use magnetic working principle is the Proton Precession Magnetometer (PPM), a device with a proton sensor that works based on the process of the proton nucleus, which results in changes in the surrounding magnetic field. The PPM sensor uses 1000 coils wrapped around two acrylic tubes containing liquid kerosene. The frequency produced by the sensor is processed on the Arduino Uno so that it becomes the anomalous value of the earth's magnetic field in nanoTesla units. The Neo-7 GPS module is used to obtain latitude, longitude, date, and time in the measurement. Data generated such as the value of the earth's magnetic field, latitude, longitude, date and time (UTC) is saved on the SD card and showed on the 20x4 LCD. The sensor can measure the total earth magnetic field value, which has an average correction value of 198,674 nT and has a sensitivity of 0.0006 nT/kHz.

Keywords: *Earth's Magnetism, Proton, Magnetometer*

PENDAHULUAN

Metode magnetik adalah salah satu metode yang baik digunakan untuk mengetahui jenis permukaan bawah tanah dan strukturnya (Nugroho, 2017). Proses pengambilan data dengan menggunakan *magnetometer*.

Instrumen ini mengukur besarnya *magnitud* medan magnet total tanpa memandang arah vektornya. Anomali medan magnetik total bumi merupakan medan magnet yang dibangkitkan oleh anomali atau batuan termagnetisasi pada kerak bumi sebagai akibat

adanya induksi medan utama magnetik bumi. Anomali ini dihitung dari pengukuran medan magnet total dikurangi medan utama magnetik bumi tersebut. Medan utama magnetik bumi (*main field*) B_M dan medan magnet benda penyebab anomali medan magnet B_A memberikan sumbangan dalam medan magnet total bumi sehingga medan magnet total bumi pun berubah

$$B_T = B_M + B_A \quad (1)$$

Magnetometer memiliki dua jenis pengukuran yaitu magnetometer skalar dan magnetometer vektor (Premono, 2015). Magnetometer skalar merupakan magnetometer yang hanya dapat mengukur nilai suatu medan magnet tanpa mengetahui arah dari medan magnet itu sendiri. Contoh magnetometer skalar adalah *Proton Precession Magnetometer* (PPM). Magnetometer vektor merupakan magnetometer yang dapat mengukur arah dan besar medan magnet disekitarnya. Contoh magnetometer vektor adalah *Fluxgate Magnetometer*.

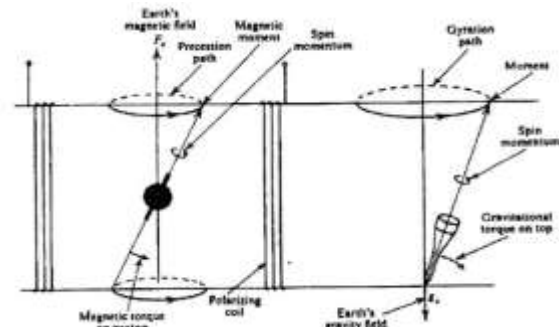
PPM bergantung pada pengukuran frekuensi presesi bebas proton yang telah terpolarisasi pada arah mendekati normal terhadap medan magnet bumi (Salim, 2007). Ketika medan polarisasi tiba-tiba menghilang, presesi proton di sekitar medan magnet bumi akan bersifat seperti gasing (*spinning top*). Medan bumi menyuplai gaya presesi yang sesuai dengan gravitasi seperti kasus di atas. Analoginya ditunjukkan pada Gambar 1. Proton berpresesi pada kecepatan sudut ω , atau biasa dikenal dengan frekuensi presesi larmor yang sebanding dengan medan magnet F sehingga (Telford, 1990) :

$$\omega = \gamma PF \quad (2)$$

Konstanta γP adalah rasio *gyromagnetic* dari proton, yaitu rasio momen magnetik terhadap momentum sudut spinnya. Nilai dari $\gamma P = 2.6751525 \times 10^8 \text{ rad s}^{-1} \text{ T}^{-1}$ dengan akurasi hingga 0,001%. Pengukuran frekuensi yang relatif mudah menyebabkan medan magnet memiliki akurasi yang sama, berikut adalah turunan rumus yang menagacu pada persamaan 2 (Lanza, 2006)

$$F = \frac{f}{(\gamma P / 2\pi)} \quad (3)$$

$\omega = 2\pi f$ dengan f adalah frekuensi dalam satuan Hz dan $\pi = 3,14$. Pengukuran rata-rata medan magnet bumi yang bernilai 45000 nT memiliki frekuensi bernilai 1916 Hz. Pengukuran frekuensi membutuhkan waktu sekitar 2-3 detik. Resolusi pengukuran dengan PPM mencapai 0,1 hingga 0,01. Komponen yang penting dari magnetometer ini terdiri dari sumber proton, medan magnet yang terpolarisasi lebih kuat dari medan magnet yang terpolarisasi terhadap bumi dan mengarah normal terhadapnya (arah dari medan ini hilang pada 45°), kumparan *pickup* yang terpasang kencang dengan sumber, dan penguat untuk memperkuat tegangan terinduksi pada kumparan, serta alat pengukur frekuensi. Pengoperasian pada rentang audio karena (dari persamaan (2), $\nu = 2130 \text{ Hz}$ untuk $F = 50000 \text{ nT}$) hal tersebut harus dapat mengindikasikan beda frekuensi disekitar 0,4 Hz untuk setiap sensitivitas sensor 10 nT (Ruhunusiri, 2008).



Gambar 1. Analogi proton precession spinning top (Telford, 1990).

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini akan merancang sebuah sensor PPM dengan memanfaatkan cairan proton sederhana yaitu *kerosene* dan merancang sebuah filter sebagai pengkondisian sinyal yang nantinya dapat mengukur nilai medan magnet absolut pada area pengukuran

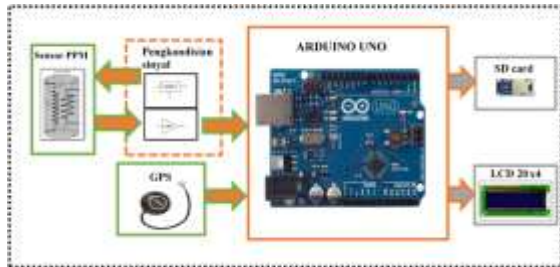
METODE

Blok diagram menjabarkan perancangan sistem yang terdiri dari sensor PPM, Pengkondisian Sinyal, Modul GPS, Arduino Uno, LCD 20x4, dan *SD Card*. Pada Gambar. 2 menunjukkan blok diagram diagram secara

keseluruhan yang memiliki fungsi-fungsi sebagai berikut :

1. Sensor PPM

Sensor PPM hasil rancangan berfungsi untuk mengukur nilai medan magnet total dengan output berupa nilai frekuensi yang akan diolah oleh pengkondisian sinyal sebelum masuk ke Arduino untuk mendapatkan nilai besaran medan magnet total dalam satuan medan magnet.



Gambar 2. Diagram blok perancangan sistem.

2. Pengkondisian Sinyal

Pengkondisian sinyal merupakan suatu operasi elektronika untuk mengolah sinyal baik itu dalam pembatasan frekuensi maupun pembesaran sinyal itu sendiri. Adapun pengkondisian sinyal terdiri dari beberapa rangkaian elektronika sebagai berikut :

a) Rangkaian DC konverter

DC converter merupakan rangkaian yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC dari power supply (aki) sebesar 12.58 Vdc menjadi 12 Vdc tegangan, sehingga komponen elektronika lainnya yang mendapatkan suplai tegangan dari power supply (aki) tidak akan rusak. Sifat komponen yang digunakan dalam penelitian ini hanya mampu mendapatkan suplai tegangan DC berkisar antara 7-12 V.

b) Rangkaian Osilator

Rangkaian osilator merupakan rangkaian yang mampu membangkitkan sinyal sinus soidal yang selanjutnya akan digunakan sensor PPM sebagai trigger untuk mendapatkan frekuensi dari proses *precess*.

3. Modul *Global Positioning System* (GPS)

Modul GPS dihubungkan pada Arduino Uno yang akan digunakan untuk menentukan latitude dan longitude serta titik koordinat x dan y yang mendukung hasil pengukuran medan magnet total.

4. Arduino Uno

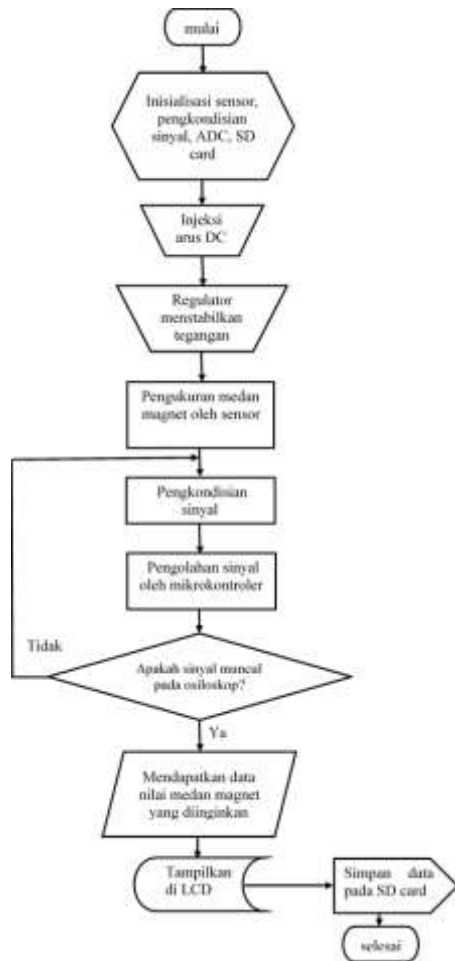
Arduino Uno merupakan sebuah mikrokontroler yang berbasis ATmega328P. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu mendukung kinerja dari mikrokontroler dan dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB. Fungsi dari Arduino Uno adalah sebagai ADC yang nantinya akan merubah nilai tegangan menjadi satuan medan magnet total.

5. LCD 20x4

Liquid Crystal Display (LCD) digunakan sebagai tampilan untuk menampilkan nilai medan magnet total dalam angka. LCD 16x4 memiliki 4 baris dimana setiap barisnya memiliki 20 karakter baik huruf maupun angka.

6. SD Card

SD Card digunakan untuk menyimpan data hasil pengukuran yang menjadi backup jika terjadi error pada pengukuran.



Gambar 3. Diagram alir sistem.

Pada Gambar. 3 menjelaskan diagram alir dari perancangan Proton Precession Magnetometer hingga dapat mengukur nilai medan magnet total bumi. Berikut tahapan dari sistem yang dibangun :

1. Melakukan inisialisasi pada sensor, pengkondisian sinyal, dan Arduino Uno dengan bahasa pemrograman.
2. Memberikan injeksi arus DC sebesar 12 V pada sensor PPM.
3. Pengkondisian sinyal melakukan penstabilan tegangan dan memtusu arus dengan switch.
4. Mengukur nilai medan magnet total bumi dengan nilai frekuensi yang dihasilkan sensor.
5. Membatasi nilai frekuensi yang diterima serta memberikan gain pada output sensor oleh pengkondisian sinyal.
6. Melakukan pengolahan ADC oleh mikrokontroler.

7. Menampilkan sinyal pengukuran pada osiloskop.
8. Menampilkan nilai medan magnet pada LCD 16x4.
9. Menyimpan data hasil pengukuran pada SD Card.

Lilitan sensor PPM terdiri dari 1000 lilitan, yang dililit pada 2 tabung. Jumlah lilitan pada kedua tabung identik sama dan juga searah. Lilitan terdiri dari 6 layer yang masing-masing layer memiliki jumlah lilitan yang berbeda, yaitu 203 lilitan, 199 lilitan, 196 lilitan, 192 lilitan, 189 lilitan, dan 21 lilitan.



Gambar 4. Komposisi lilitan pada sensor.

Pada gambar. 4 menunjukkan 2 botol tabung 70.56 ml yang dililit dengan kawat berdiameter 0.5 mm yang identik sama. Tabung A dengan tabung B memiliki jarak 3 cm untuk mencegah agar tidak terjadi *shortcurrent* pada lilitan. frekuensi dari sensor yang terukur dengan *frequencymeter* yang memberikan nilai antar 500-2000 Hz. Frekuensi input yang diberikan oleh osilator sebesar 60.000 Hz dengan tegangan sebesar 3.81 V.

Gambar5. Sensor dan *data logger*

Pada Gambar. 5 menunjukkan *casing* sensor yang merupakan bagian dari sistem yang telah dirancang, pada *casing* sensor terdapat konektor cb untuk menghubungkan sensor ke data logger dan juga terdapat lubang untuk menyambungkan sensor pada kaki sensor.

Gambar6. Sensor dan *data logger*

Gambar 5 juga menunjukkan *casing* data logger yang didalamnya terdapat beberapa komponen seperti *Osilator*, *DC converter*, Saklar, *Arduino Uno*, *Module GPS Neo-7*, *SD Card*, dan LCD 20x4 yang menampilkan data nilai medan magnet total bumi. Secara keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

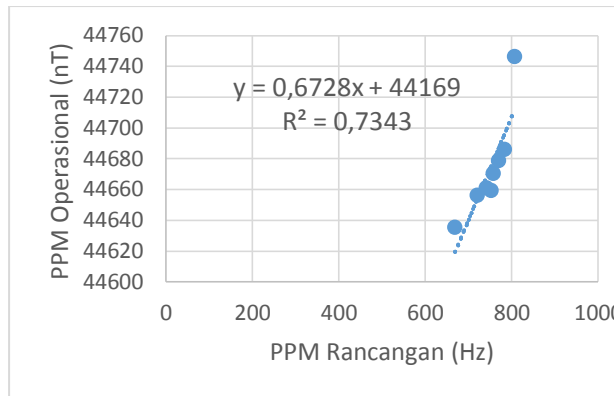
Komparasi sensor digunakan untuk mencari hubungan antara keluaran alat PPM rancangan yang masih berupa frekuensi dengan alat *MMPOS-1 Mobile Magnetometer* yang berupa besaran nanoTesla. Pengujian dilakukan dengan mengukur di tempat dan pada waktu pengukuran yang bersamaan anatara kedua

alat, sehingga memungkinkan nilai frekuensi yang terukur dari alat PPM rancangan adalah nilai yang sebenarnya dalam satuan nanoTesla. Hasil dari pengukuran pada 3 Juli 2019 ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

No	LAT	LONG	UTC	PPM Rancangan (Hz)	PPM Standar (nT)
1	-6.265	106.74	10:40:28	785.55	44594.9
2	-6.265	106.73	10:40:43	669.79	44635.1
3	-6.265	106.73	10:40:43	831.95	44669.1
4	-6.265	106.73	11:40:43	807.1	44745.8
5	-6.265	106.73	10:40:43	784.31	44685.8
6	-6.265	106.74	10:48:08	741.84	44660.7
7	-6.265	106.74	10:48:08	758.15	44670.0
8	-6.265	106.74	10:48:08	771.01	44678.3
9	-6.265	106.74	10:48:08	720.98	44655.7
10	-6.265	106.74	10:48:08	753.58	44659.0
Σn				7624.26	44665.4
Avg				762.426	44665.4

Tabel 1. Data hasil komparasi ppm rancangan dengan *MMPOS-1 Mobile Magnetometer*

Berdasarkan Tabel 1 didapatkan data hasil pengukuran yang dapat ditampilkan pada grafik untuk memperlihatkan hubungan antara nilai frekuensi pada sensor dan nilai medan magnet pada alat operasional. Gambar7 menunjukkan nilai fungsi transfer untuk mengubah nilai pengukuran pada PPM rancangan dari frekuensi ke satuan medan magnet dalam nanoTesla dengan menggunakan pendekatan regresi linear $y = 0.672791x + 44168.69$, yang artinya jika terjadi kenaikan 1 Hz pada frekuensi PPM rancangan maka nilai medan magnet akan bertambah sebesar 0.672791 nT atau memiliki sensitivitas sebesar 0.0006 nT/kHz.



Gambar 7. Grafik hasil komparasi untuk mendapatkan nilai persamaan linear

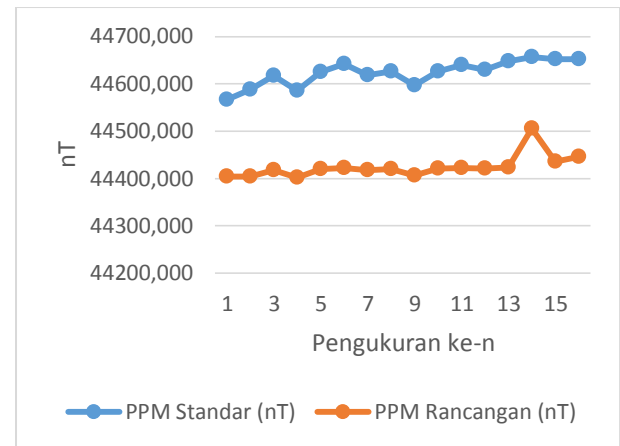
Namun perbedaan nilai frekuensi yang dihasilkan PPM rancangan pada tiap pengukurannya sangat jauh berbeda. PPM standar yang memiliki hasil pengukuran nilai medan magnet total pada setiap pengukurannya, hal ini dikarenakan PPM rancangan tidak stabil seperti PPM standar yang stabil dalam setiap pengukurannya.

Komparasi alat PPM rancangan dengan alat *MMPOS-1 Mobile Magnetometer* menghasilkan fungsi transfer yang digunakan untuk mengubah nilai frekuensi ke dalam satuan nT. Fungsi transfer tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi besar medan magnet total bumi disekitar sensor.

Uji lapangan sistem bertujuan untuk menguji kelayakan alat PPM rancangan. Nilai dari PPM rancangan yang sudah berupa nanoTesla akan dibandingkan kembali dengan nilai keluaran alat PPM operasional standar *MMPOS-1 Mobile Magnetometer*, untuk mengetahui seberapa besar selisih pengukuran antara kedua alat tersebut.

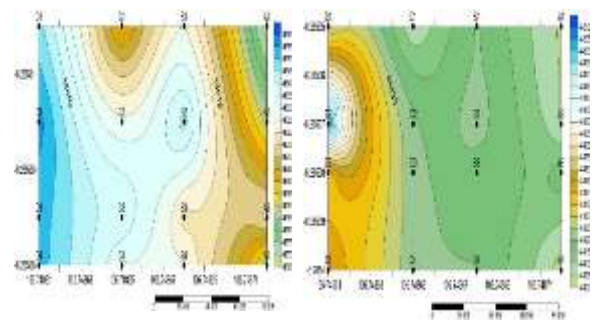
Perbandingan hasil pengukuran adalah salah satu tahapan untuk mengetahui seberapa baik sistem dapat melakukan pengukuran dengan akurat dan presisi seperti yang terukur pada alat standar. Pengukuran tersebut dilakukan ditempat dan pada waktu yang bersamaan, dengan melakukan 16 titik pengukuran. Jarak pengukuran antara alat PPM rancangan dan alat PPM standar sejauh 4 meter dalam pengukuran, hal ini bertujuan untuk menghindari gangguan pada pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan membentuk grid pada 16 titik, lebar antara titik adalah 2 meter

dan panjang antara titik adalah 4 meter. Perbandingan nilai pengukuran pada kedua alat ukur dapat dilihat pada Gambar 7. berikut.



Gambar 8. Grafik perbandingan hasil uji lapang

Perbedaan rapat nilai hasil pengukuran disebabkan oleh adanya selisih rata-rata nilai pengukuran hingga 198.674 nT antara alat PPM rancangan dan alat PPM standar, hal ini juga disebabkan karena alat PPM rancangan kurang stabil dalam melakukan pengukuran di lapangan sehingga hasil yang diperoleh belum akurat dan presisi seperti alat PPM standar.



Gambar 9. Peta kontur hasil pengujian

pengukuran terlihat berbeda pada kedua gambar, dikarenakan pada pengukuran jarak antara kedua alat adalah 3 meter yang berarti nilai lintang dan bujur untuk alat PPM rancangan adalah -3 meter dari alat PPM standar dan juga disebabkan oleh selisih hasil pengukuran dari kedua alat sebesar 198.674 nT, akan tetapi kedua alat tersebut memiliki perubahan besar nilai medan magnet total yang sama.

SIMPULAN DAN SARAN

Sensor yang digunakan dalam mendeteksi anomali medan magnet menggunakan prinsip kerja sensor *Proton Precession Magnetometer*, dimana sensor ini menggunakan inti cairan yang dililit kawat, dengan cara kerja sensor yang menghasilkan frekuensi dari presisinya sebuah proton pada intinya yang digambarkan sebagai anomali medan magnet total bumi. Sistem dapat mengukur anomali nilai medan magnet total bumi dalam satuan nT, namun hasil pengukuran belum akurat dan presisi karena memiliki selisih pengukuran sebesar 198.674 nT dengan alat operasional standar.

Pengembangan selanjutnya yaitu Sensor dibuat dengan diameter yang lebih kecil, sehingga sensor tidak berat dan memaksimalkan dalam melakukan pengukuran medan magnet di berbagai medan. Kemudian diperlukan rangkaian elektronika yang dapat membatasi *low frequency*, sehingga didapatkan nilai pengukuran hanya frekuensi dari sensor tanpa adanya interferensi frekuensi dari lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Lanza, R & Meloni, A, 2006, *The Earth's Magnetism*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Jerman.
- Nugroho, H., Sari, D. K., & Hernawati, R. 2017. Pemodelan Permukaan Digital Data Magnetik Survei Geofisika Udara Menggunakan Metode Geostatistika Untuk Eksplorasi Mineral. *Reka Geomatika*. Jilid 2017, No. 2.
- Premono, P., Soedjarwanto, N., & Alam, S., 2015, Rancang Bangun Alat Instrumentasi Pengukuran Digital Kuat Medan Magnetik dengan Menggunakan Mikrokontroler ATmega8535. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*. Jilid. 9, No. 3.
- Ruhunusiri, W. D. S., & Jayananda, M. K. 2008. Construction of a Proton Magnetometer, Proceedings of the

Technical Sessions, 24, Institute of Physics, Sri Lanka

Salim, A., Bangkit, H., & Aries, M. A. 2007, Pengembangan Sistem Akuisisi Magnetometer Proton, *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, Jilid 2, No. 4.

Telford, W.M., Goldrat, L.P., & Sheriff, R.P., 1990, *Applied Geophysics 2nd ed*, Cambridge University Pres, Cambridge.